

豪雪地のスギ林における斜面雪圧の推定と軽減(Ⅱ)

—積算雪圧と林木雪害との関係—

大谷 博 彌・塚 原 初 男*・須 藤 昭 二

(山形大学農学部造林学研究室・*農学部附属演習林)

(平成2年9月1日受理)

Estimation and Reduction of Snow Pressure on the Steep Stands
Cryptomeria in Heavy Snow District (Ⅱ)

—Relation Between Cumulative Snow Pressure and Snow Damages of Trees—

Hiroya OHTANI, Hatsuo TSUKAHARA* and Shoji SUTO

Laboratory of Silviculture, Faculty of Agriculture,

Yamagata University, Tsuruoka 997, Japan

*University Forest, Faculty of Agriculture,

Yamagata University, Tsuruoka 997, Japan

(Received September 1, 1990)

Summary

To reduce the snow damage on the steep stands in heavy snowy district, relation between some cumulative snow pressures estimated from HAEFELI's theory³⁾ and NAKAMATA's formula³⁾ and some morphological responses of snow damage on the *Cryptomeria* trees were discussed with correlation analysis. Highest correlation coefficient in 12 cumulative snow pressures to three responses of snow damage, were $\log \Sigma (P_n \cdot \tau - P)$ to logarithmic number of dead trees per hectare ($\log \Sigma n_d$), $\log \Sigma (F - P)$ to logarithmic horizontal distance from stem base to stem axis at 1.2 m height ($\log S$), and $\Sigma F \cdot \tau$ to length of rooted stem (L_R), respectively. Number of dead trees per hectare (n_d , n/ha) was connected closely with difference between cumulative snow pressure on the steep slope (P_n , ton) took into continuous snow cover ratio (τ , day/day) and drag strength of stump (P , ton). Horizontal distance from stem base to stem axis at 1.2 m height (S , cm) was connected closely with difference between cumulative sinking snow pressure (F , ton) and the drag strength (P , ton). Length of rooted stem (L_R , cm) was connected closely with cumulative sinking snow pressure took into continuous snow cover ratio.

I は し が き

筆者ら⁶⁾は、豪雪地のスギ林の最も主要な雪害要因と見られる斜面雪圧を推定する過程で、一冬季の最大雪圧を累計することによって求められる積算雪圧¹⁾²⁾⁴⁾が、実生スギ造林木の雪圧害をあらわす幾つかの計測項目、すなわち、単位面積当たり雪害木本数、林分平均傾幹幅、及び林分平均根株長との間に密接な相関関係のあることを見出し、先に報告した。その場合の一冬

季の最大雪圧は、立木に加わる実測値に基づいての考察ではなく、スイスで常用されている HAEFELI の斜面雪圧理論³⁾に基づいて計算される推定値であった。

そのため、先の報告では、推定される積算雪圧の妥当性に関する検討は、まだ不十分であった。そこで、今回は、同じ推定値ではあるが、先の報告⁶⁾のほかにいくつかの積算雪圧要因をとりあげ、これらと雪圧害計測項目との関係を解析し、HAEFELI の理論に基づく積算雪圧推定値の妥当性について考察した。

本研究には、過去10数年にわたる造林学研究室・講座の学生・院生の卒論・修論研究として、筆者らとの共同研究の一部の内容が含まれている。また、附属演習林の職員からは、長年にわたる試験林の管理あるいは調査補助などのご協力を受けた。厚くお礼申し上げる。

なお、本研究の一部は、日本林学会大会発表論文集、日本林学会東北支部会誌、日本自然災害学会講演要旨集、日本雪氷学会講演予稿集などの学会誌等に発表した。

Ⅱ 材料と方法

積算雪圧の妥当性は、雪圧害の3計測項目のおおの、HAEFELI³⁾の斜面雪圧理論式及び中股ら³⁾の積雪沈降圧推定式など、全部で12通りの方式によって推定された雪圧との間に相関解析法によって考察した。

雪圧害の計測項目には、先の報告⁶⁾と同一の上名川演習林幼齡実生スギの根元曲がり増大期⁵⁾にあたる林分調査データの一部を用いた。そのなかで、単位面積当たりの累計雪害木本数 (Σn_D , 本/ha) の解析データは、11林班よ小班の17年生未満の17点である。また、林分平均傾幹幅 (S , cm) の解析データは11林班よ小班的の17年生未満の10点と12林班は小班的の9年生未満の4点をプールした計14点であり、林分平均根株長 (L_R , cm) の解析データは11林班よ小班的の17年生未満の9点と12林班は小班的の9年生未満の4点をプールした計13点である。

データのプールは、両林分の位置が比較的接近し、林木の成育環境にも大差が認められないところから、解析データの点数を増加させるためである。

積算雪圧及びその他の積雪要因には、先の報告⁶⁾と同一の一冬季間の最大雪圧の積算 [$\Sigma (P_N \cdot \tau - P)$, ton] の他、立木の根株引き抜き抵抗力 (P , ton)⁶⁾⁷⁾を考慮しない $\Sigma (P_N \cdot \tau)$ (ton)、これに根雪期間の相対的長さ (根雪係数, τ , 日/日)⁶⁾⁷⁾を考慮しない ΣP_N (ton)、これに根株引き抜き抵抗力 (P , ton) を考慮する $\Sigma (P_N - P)$ (ton)、 P_N の林分平均樹間距離 (d , m) に代わって林分平均根元直径 (D_0 , m) をとりあげた場合の $\Sigma P_{D0} \cdot \tau$ (ton) 及び $\Sigma (P_{D0} \cdot \tau - P)$ (ton)、年間の最深積雪の累計 (積算最深積雪) (ΣH_s , m)、最深積雪の二乗の累計 (ΣH_s^2 , m²)、さらに、中俣ら³⁾の沈降圧算定式に基づいて求められた埋雪木に加わる一冬季間最大沈降圧の積算 [$\Sigma (F \cdot \tau - P)$, ton] の他、これに P を考慮しない $\Sigma F \cdot \tau$ (ton)、さらに τ

を考慮しない ΣF (ton)、これに P を考慮する $\Sigma (F - P)$ (ton) の12要因をとりあげた。ここで、 P_N , P_{D0} , P , 及び F は、以下の(1), (2), (3), (4)式のとおりである。

$$P_N = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot H_s^2 \cdot K \cdot N_H \cdot d \cdots \cdots (1)$$

$$P_{D0} = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot H_s^2 \cdot K \cdot N_H \cdot D_0 \cdots \cdots (2)$$

$$P = 45.53 D_0^{1.36} \cdots \cdots (3)$$

$$F = \gamma \cdot H_s \cdot A \cdots \cdots (4)$$

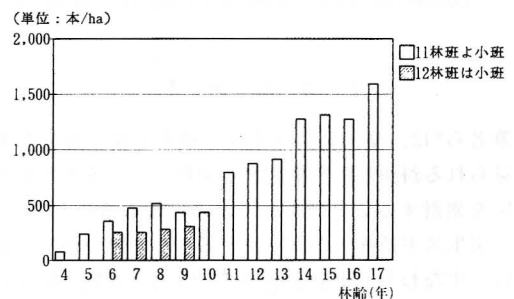
γ は雪密度 (ton/m³), H_s は最深積雪 (m), K はスイスの雪崩防止工事指方書に準じたクリープ係数, N_H はグライド係数, A は埋雪木の雪圧影響圏面積 (m²)⁷⁾ である。

相関解析は、両真数と両対数の二通りの場合について実施した。

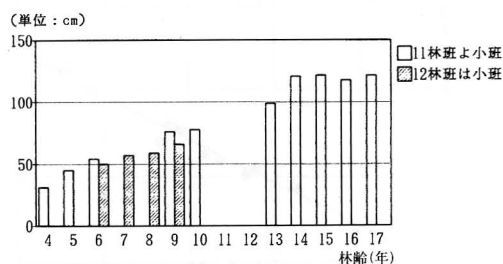
Ⅲ 結果と考察

相関解析に用いられた実生スギの、単位面積当たり累計雪害木本数 (Σn_D) は、17年生以下の範囲では林齢と共に増加の傾向がある。しかし、それは一様に増加するのではなく、途中に凹凸が認められる (図—1)。 Σn_D の減少は、その年の雪害回復木の本数が雪害木の本数よりも多かったことによるものであろう。したがって、林齢に代わって途中の凹凸を直線に表示できる要因を見いだすことが課題となる。

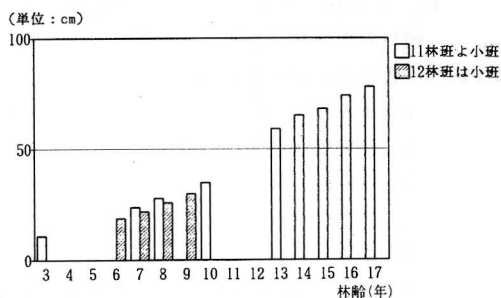
林分平均の傾幹幅 (S) と根株長 (L_R) のデータには、林齢の途中に次測値を持っているものがあるが、根元曲がりの増大期の特徴を持っている。 S は一様に増大するのではなく途中で低下する場合があった (図—2)。しかも、15~17年生の S は、それまでの増大傾向とは明らかに異なり、頭打ちの状態を示した。 L_R は、今回のデータの範囲ではほぼ一様な増大傾向であった。



図—1 豪雪地における幼齡実生スギの単位面積当たり累計雪害木本数の推移



図—2 豪雪地における幼齡実生スギの林分平均
傾幹幅の推移



図—3 豪雪地における幼齡実生スギの林分平均
根株長の推移

表—1 豪雪急傾斜地における幼齡スギ造林
木の雪圧害と積算雪圧との関係

積算雪圧 (両真数の場合)	林木の雪圧害		
	Σn_D	S	L_R
$\Sigma (P_N \cdot \tau - P)$	0.9757**	0.9863**	0.9643**
$\Sigma P_N \cdot \tau$	0.9867**	0.9857**	0.9912**
ΣP_N	0.9868**	0.9861**	0.9908**
$\Sigma (P_N - P)$	0.9760**	0.9914**	0.9630**
$\Sigma P_{D0} \cdot \tau$	0.9897**	0.9715**	0.8688**
$\Sigma (P_{D0} \cdot \tau - P)$	-0.9706**	-0.9574**	-0.8628**
ΣH_s	0.9751**	0.9717**	0.9216**
ΣH_s^2	0.9772**	0.9242**	0.9107**
$\Sigma (F \cdot \tau - P)$	0.9858**	0.9826**	0.9939**
$\Sigma F \cdot \tau$	0.9869**	0.9785**	0.9960**
ΣF	0.9875**	0.9784**	0.9958**
$\Sigma (F - P)$	0.9882**	0.9836**	0.9940**
(両対数の場合)			
	$\text{Log } \Sigma n_D$	$\text{Log } S$	$\text{Log } L_R$
$\text{Log } \Sigma (P_N \cdot \tau - P)$	0.9878**	0.9841**	0.9406**
$\text{Log } \Sigma P_N \cdot \tau$	0.9783**	0.9912**	0.9752**
$\text{Log } \Sigma P_N$	0.9795**	0.9936**	0.9790**
$\text{Log } \Sigma (P_N - P)$	0.9901**	0.9926**	0.9456**
$\text{Log } \Sigma P_{D0} \cdot \tau$	0.9266**	0.9927**	0.9131**
$\text{Log } \Sigma H_s$	0.9311**	0.9706**	0.9235**
$\text{Log } \Sigma H_s^2$	0.9295**	0.9178**	0.8805**
$\text{Log } \Sigma (F \cdot \tau - P)$	0.9744**	0.9939**	0.9829**
$\text{Log } \Sigma F \cdot \tau$	0.9709**	0.9936**	0.9875**
$\text{Log } \Sigma F$	0.9701**	0.9931**	0.9877**
$\text{Log } \Sigma (F - P)$	0.9772**	0.9943**	0.9819**

** : 1%レベルの有意
アンダーラインは最大値

が(図-3), この後, 林齢が経過し林木が成長するにつれて, 頭打ちの状態になることが知られている⁵⁾.

スギの雪圧害計測項目と積算雪圧他との間には, いずれも有意な正または負の相関が認められたが, 単相関係数の著しく高い雪圧要因は, 雪圧害の計測項目によって, あるいは真数か対数かによって一致しなかった(表-1).

単相関係数の値からみると, Σn_D は $\Sigma (P_N - P)$ との両対数関係が, S は $\Sigma (F - P)$ をはじめとする沈降圧及び斜面雪圧などの積算雪圧との両対数関係, L_R は $\Sigma F \cdot \tau$ をはじめとする沈降圧及び斜面雪圧などの積算雪圧との両真数関係が密接であった(5, 6, 7式, 図-4, 5, 6).

$$\Sigma n_D = 0.37 [\Sigma (P_N - P)]^{2.0916} \dots\dots\dots(5)$$

$$S = 14.45 [\Sigma (F - P)]^{0.5215} \dots\dots\dots(6)$$

$$L_R = 0.6958 \Sigma F \cdot \tau + 10.67 \dots\dots\dots(7)$$

豪雪急傾斜地の根元曲がり増大期における幼齢スギ

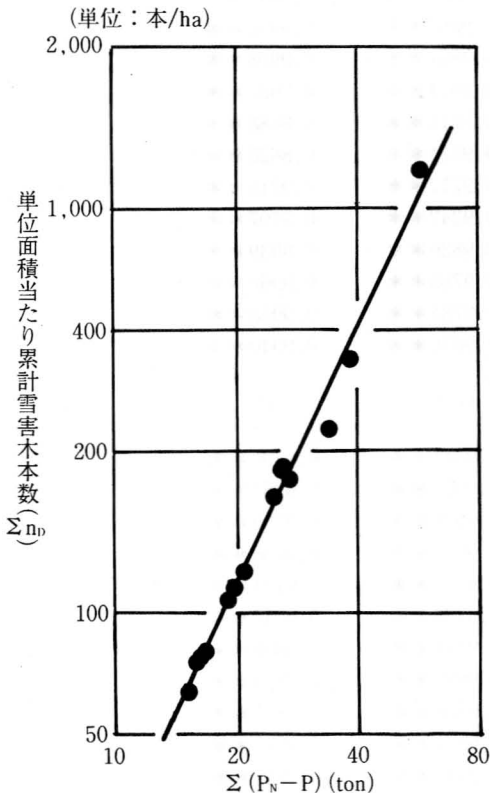


図-4 累計雪害木本数(Σn_D)と積算雪圧($\Sigma (P_N - P)$)との両対数関係

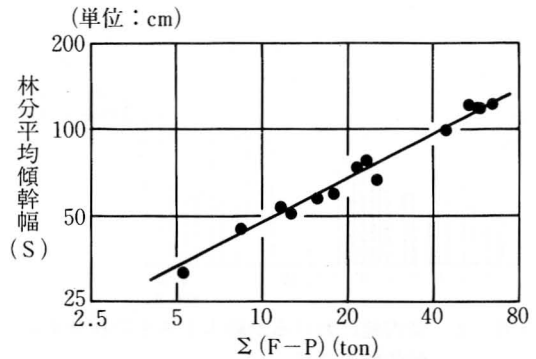


図-5 林分平均傾幹幅(S)と積算雪圧($\Sigma (F - P)$)との両対数関係

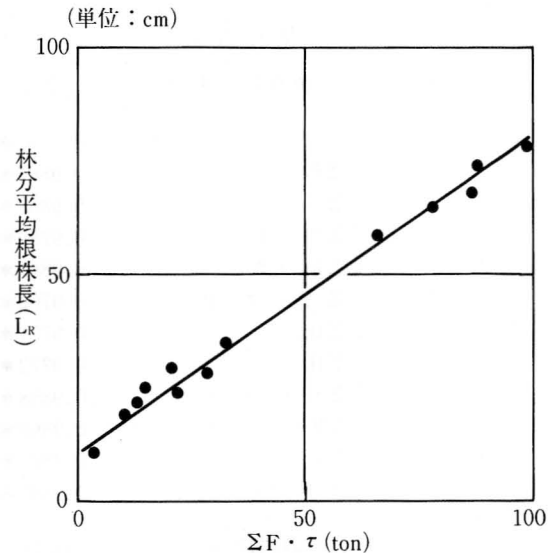


図-6 林分平均根株長(L_R)と積算雪圧($\Sigma F \cdot \tau$)との真数関係

の単位面積当たりの雪害木本数は, 経年とともに指数関数的に増加するが, 関係要因としては Haefeli の斜面雪圧に根雪係数と林分平均樹間距離を考慮し, スギの根株引き抜き抵抗力を差し引いた残りの圧力に著しく影響を受けていることが明らかになった。

ちなみに, (5)(6)(7)式による場合の推定値の誤差率は, Σn_D では 7.9% (表-2), S では 5.9% (表-3), L_R では 8.7% (表-4) であり, いずれも小さかった。

積算雪圧に対する傾斜幅と根株長の反応特性は, 関係する雪圧要因の内容には共通点もあるが, 傾斜幅は

表—2 (5)式による Σn_D の推定誤差

林小班	$\Sigma (P_N - P)$ (ton)	Σn_D の推定値 (本/ha)	実際の Σn_D (本/ha)	誤差 (%)
11—よ	14.11	93.88	80	+17.3
	20.71	209.47	239	-12.4
	23.53	273.58	358	-23.6
	29.37	434.98	477	- 8.8
	32.16	525.90	517	+ 1.7
	31.29	496.58	438	+13.4
	31.36	498.91	438	+13.9
	38.77	777.50	797	- 2.4
	41.11	878.89	876	+ 0.3
	42.11	924.20	915	+ 1.0
	47.55	1,191.60	1,273	- 6.4
	51.13	1,386.97	1,313	+ 5.6
	49.07	1,272.66	1,274	- 0.1
	53.60	1,530.82	1,592	- 3.8
全体				± 7.9

表—3 (6)式による S の推定誤差

林小班	$\Sigma (F - P)$ (ton)	S の推定値 (cm)	実際の S (cm)	誤差 (%)
11—よ	5.16	34.00	31	+ 7.9
	8.59	44.35	45	- 1.4
	11.75	52.23	54	- 3.3
	22.27	72.90	76	- 4.1
	23.54	75.04	78	- 3.8
	44.62	104.74	99	+ 5.8
	53.39	115.01	121	- 5.0
	59.79	122.01	122	± 0.0
	57.95	120.03	118	+ 1.7
	64.90	127.34	122	+ 4.4
12—は	12.66	54.30	50	+ 8.6
	15.80	60.95	57	+ 6.9
	17.88	65.01	59	+10.2
	25.07	77.54	66	+17.5
全体				± 5.9

指数関数反応, 根株長は直線反応と両者には差異のあることが認められた。根元曲がりを計測する際, 傾斜幅と根株長を区別しない場合も見られるが, 豪雪急傾斜地では, 両者を区別することが望ましいようである。

表—4 (7)式による L_R の推定誤差

林小班	$\Sigma F \cdot \tau$ (ton)	L_R の推定値 (cm)	実際の L_R (cm)	誤差 (%)
11—よ	3.75	13.28	11	+20.7
	21.89	25.90	24	+ 7.9
	28.44	30.46	28	+ 8.8
	32.70	33.42	35	- 5.5
	65.67	56.36	59	- 5.5
	77.92	64.89	65	- 0.2
	86.76	71.04	68	+ 4.5
	87.92	71.84	74	- 2.9
	98.69	79.34	78	+ 1.7
12—は	10.11	17.70	19	- 6.8
	12.75	19.54	22	-11.2
	14.47	20.74	26	-20.3
	20.32	24.81	30	-17.5
全体				± 8.7

以上により, 先の報告⁶⁾で $\Sigma P_{S_{Max}}$ と表した積算雪圧要因 $\Sigma (P_N \cdot \tau - P)$ はスギの林木雪害計測項目と密接な関係があるが, その他にもより密接に関係する積算雪圧要因の存在することが明らかとなった。雪圧の推定には, HAEFELI の斜面雪圧理論式のほか, 中俣らの沈降圧算定式にもその妥当性のあることが見いだされた。なお, 今回の資料解析の結果のように, 雪圧害による立木本数の減少は HAEFELI の斜面雪圧理論式に基づき, 根元曲がりを表す傾斜幅や根株長の増大は中俣らの積雪沈降圧式に基づくのが妥当かどうかは, 他の事例解析の結果を待つ必要があろう。

樹間距離に代わり根元直径で積算雪圧を算出する場合にも, 傾斜幅との指数関係が著しく密接であった(表—1)。立木に加わる雪圧の推定値は, 単位面積当たり雪害本数や根株長よりも斜幹幅に及ぼす影響が大ききようである。

今回取り上げられた林木雪害のうちで, 単位面積当たりの累計雪害本数や根株長の軽減は毎年の P_N の低下と P の強化, 傾斜幅の軽減は毎年の F の低下と P の強化, 根株長の軽減は毎年の F と τ の低下が可能かどうかにかかっていると言えよう。

引用文献

- 1) 遠藤文子・塚原初男・大谷博彌・渡部房生：スギの致命的な雪圧害と積算雪圧との関数（Ⅰ）—根元曲がり被害との比較—日本林学会東北支部会誌 **33**：42-44, 1981
- 2) 保坂良悦・塚原初男・大谷博彌・渡部房生：スギの致命的な雪圧害と積算雪圧との関係（Ⅱ）—傾斜角のちがい—日本林学会東北支部会誌 **33**：45-46, 1981
- 3) 日本建設機械化協会：新防雪工学ハンドブック，森北出版：1-58, 1977
- 4) TSUKAHARA, H. and OHTANI, H. : Mechanism of occurrence of snow damages to for estation trees in north-east Jpan. Voluntary paper (Session 2, Congress Group 1. 4), X VII IUFRO World Congress, Kyoto, Sept. 1981
- 5) 塚原初男・大谷博彌・須藤昭二：豪雪急斜地における実生スギ造林木の根元曲がり 山形農林学会報 **32**：21-30, 1975
- 6) 塚原初男・大谷博彌・須藤昭二：豪雪地のスギ林における斜面雪圧の推定と軽減Ⅰ—積雪の流動と積算雪圧—山形大学紀要（農学） **11** (11)：219-234, 1990
- 7) 塚原初男・大谷博彌・須藤昭二・荻山紘一：積雪の生理的作用に関する造林学的研究 57年度科研一般B研報：1-57, 1983